

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-224968

(43)Date of publication of application : 17.08.1999

(51)Int.Cl. H01S 3/11

(21)Application number : 10-304359

(71)Applicant : COHERENT LUEBECK GMBH

(22)Date of filing : 26.10.1998

(72)Inventor : ELM VON RUEDIGER DR
KNEIP AXEL

(30)Priority

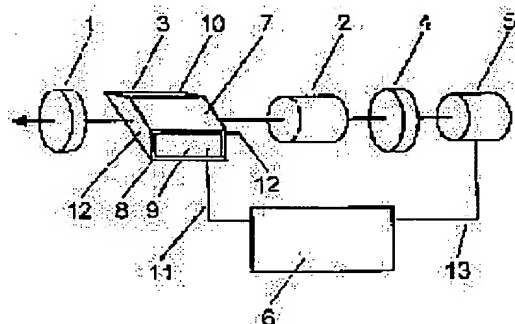
Priority number : 97 19747180 Priority date : 24.10.1997 Priority country : DE

(54) PULSE LASER HAVING FIRST PULSE CONTROL

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To avoid inconvenience of known pulse data by allowing the energy of laser pulse radiated at first of pulse train to be substantially identical with the energy of other pulses.

SOLUTION: A pumping source will not be operated at its lowered capacity in any extended time period, so that the energy of first radiated pulse will not substantially be different from that of other pulse in a pulse train. Through the use of a first pulse control 6, for example, the accumulated energy of an active laser material 2 during non-active operation of a pulse laser is held for a peak value of the accumulation energy during pulse operation period by pre-lasing, or the pumping power of a pumping source 5 is lowered by pre-lasing or after switching to pulse operation so that the triggering of a first laser pulse is delayed to a time when the accumulation energy reaches a value present as a peak value during pulse train, thus the accumulation energy of the active laser material 2 is lowered.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's
decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of
rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-224968

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月17日

(51) Int.Cl.⁹
H01S 3/11

識別記号

F I
H01S 3/11

審査請求 未請求 請求項の数29 OL (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平10-304359

(22) 出願日 平成10年(1998) 10月26日

(31) 優先権主張番号 19747180.3

(32) 優先日 1997年10月24日

(33) 優先権主張国 ドイツ (DE)

(71) 出願人 598147444

コヘレント リュベック ゲーエムベーハ
ー

COHERENT Luebeck Gm
bH

ドイツ連邦共和国 D-23569 リュベッ
ク ゼーランドストラーセ 9

(72) 発明者 リュディゲル フォン エルム

ドイツ連邦共和国 D-24211 キューレ
ン キューレナー ホーフェン 8

(72) 発明者 アクセル クナイプ

ドイツ連邦共和国 D-24107 キール
ヴェッテルベーク 26

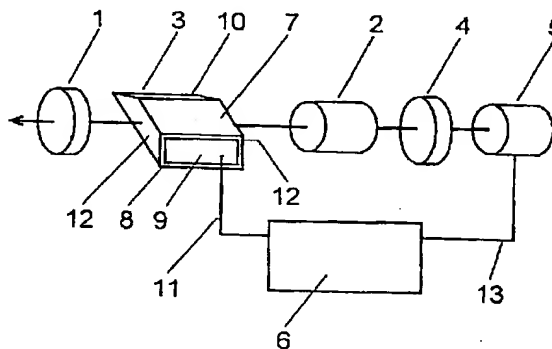
(74) 代理人 弁理士 柳田 征史 (外1名)

(54) 【発明の名称】 第1パルス制御を有するパルスレーザ

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 パルス列の最初に放射されるレーザパルスのエネルギーが他のパルスのエネルギーと実質的に同じであるようにして、既知のパルスレーザの不都合な点を回避する。

【解決手段】 ポンピング源をいかなる長さの時間においても能力を低下させて動作させることなく、放射される第1パルスのエネルギーがパルス列の他のパルスのエネルギーと実質的に異なることのないようにする。第1パルス制御6を用いて、例えば、パルスレーザの非能動動作期間中の活性レーザ材2の蓄積エネルギーをブリーディングによりパルス動作期間中の蓄積エネルギーのピーク値に保持するか、あるいはブリーディングによるかまたはパルス動作への切り替え後ポンピング源5のポンピングパワーを低下させ蓄積エネルギーがパルス列の続く間ピーク値として存在する値に到達するまで第1レーザパルスのトリガを遅らせることにより活性レーザ材2の蓄積エネルギーを低下させる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ポンピング源（５）と、活性レーザー材（２）と、ほとんど透明に調節されるオン状態とほとんど不透明に調節されるオフ状態とを有するＱスイッチ（３）と、パルスレーザを非能動動作とパルス動作との間で切り替えるためのゲート信号（Ｇ）と、第１パルスのエネルギーを制御するための第１パルス制御（６）を有し、オフ状態において、少なくとも前記パルスレーザを非能動動作からパルス動作に切り替える直前にパルス動作期間に存在するピーク値（Ｓ）の水準にほぼ近い値に前記活性レーザー材（２）の蓄積エネルギーを制限する強度を有するブリレージングがおこる限界値にまで前記Ｑスイッチ（３）の透明度を少なくとも一時的に高めるために、前記第１パルス制御（６）が設計されていることを特徴とするパルスレーザ。

【請求項 2】 オフ状態において前記Ｑスイッチ（３）の透明度が常時前記限界値まで高められていることを特徴とする請求項 1 記載のパルスレーザ。

【請求項 3】 前記Ｑスイッチ（３）の透明度が、前記パルスレーザの非能動動作期間においてのみ前記限界値まで高められていることを特徴とする請求項 1 記載のパルスレーザ。

【請求項 4】 パルス繰返し周波数及びパルスエネルギーの少なくともいずれか一方が調節可能であり、前記選ばれたパルス繰返し周波数及びパルス強度をもつパルス動作期間に存在する前記ピーク値（Ｓ）の水準にほぼ近い値に前記活性レーザー材（２）の前記蓄積エネルギーを制限する強度を有するブリレージングがおこるように、前記選ばれたパルス繰返し周波数及びパルスエネルギーに従う前記限界値を調節するために前記第１パルス制御（６）が設計されていることを特徴とする請求項 1、2 または 3 記載のパルスレーザ。

【請求項 5】 ポンピング源（５）と、活性レーザー材（２）と、ほとんど透明に調節されるオン状態とほとんど不透明に調節されるオフ状態とを有するＱスイッチ（３）と、パルスレーザを非能動動作とパルス動作との間で切り替えるためのゲート信号（Ｇ）と、第１パルスのエネルギーを制御するための第１パルス制御（６）を有し、前記第１パルス制御（６）が、

a. 前記パルスレーザの非能動動作期間はほとんど不透明に前記Ｑスイッチ（３）を調節し、

b. 前記パルスレーザを非能動動作からパルス動作に切り替えるときに前記Ｑスイッチ（３）の透明度を連続的にまたは段階的に高め、

c. 前記パルスレーザの非能動動作からパルス動作への切り替え後プリセット可能な遅延時間（Ｖ）だけ第１レーザパルスのトリガを遅らせ、

d. 前記遅延時間（Ｖ）の終了時から前記パルスレーザが非能動状態に切り替るまでオフ状態にある前記Ｑスイッチ（３）をほぼ不透明に調節するために設計されてい

ることを特徴とするパルスレーザ。

ここで前記遅延時間（Ｖ）は該遅延時間内に前記活性レーザー材（２）の蓄積エネルギーがパルス動作期間に存在する前記ピーク値（Ｓ）の水準にほぼ近い値まで低下するに十分な長さには選ばれる。

【請求項 6】 前記第１パルス制御（６）が前記Ｑスイッチ（３）の前記透明度の増加速度を調整可能とするために設計されていることを特徴とする請求項 5 のパルスレーザ。

10 【請求項 7】 前記パルス繰返し周波数及びパルスエネルギーの少なくともいずれか一方が調節可能であり、前記選ばれたパルス繰返し周波数及びパルス強度をもつパルス動作期間に存在する前記ピーク値（Ｓ）の水準にほぼ近い値まで、前記遅延時間（Ｖ）内に前記活性レーザー材（２）の前記蓄積エネルギーが低下するに十分な長さには前記選ばれたパルス繰返し周波数パルスエネルギー、及び前記Ｑスイッチ（３）の前記透明度の増加速度に従う前記遅延時間（Ｖ）を調節するために前記第１パルス制御（６）が設計されていることを特徴とする請求項 5 または 6 記載のパルスレーザ。

【請求項 8】 ポンピング源（５）と、活性レーザー材（２）と、ほとんど透明に調節されるオン状態とほとんど不透明に調節されるオフ状態とを有するＱスイッチ（３）と、パルスレーザを非能動動作とパルス動作との間で切り替えるためのゲート信号（Ｇ）と、第１パルスのエネルギーを制御するための第１パルス制御（６）を有し、前記第１パルス制御（６）が、

a. 前記パルスレーザが非能動動作からパルス動作に切り替るときに、前記ポンピング源（５）のポンピングパワーを前記パルスレーザの損失が前記ポンピングパワーを上回る限界エネルギーまで低下させ、

b. 前記パルスレーザの非能動動作からパルス動作への切り替え後プリセット可能な遅延時間（Ｖ）だけ第１レーザパルスのトリガを遅らせ、

c. 前記遅延時間（Ｖ）終了時に前記ポンピングパワーを再び最大値まで増加させるために設計されていることを特徴とするパルスレーザ。

ここで前記遅延時間（Ｖ）は該遅延時間内に前記活性レーザー材（２）の蓄積エネルギーがパルス動作期間に存在する前記ピーク値（Ｓ）の水準にほぼ近い値まで低下するに十分な長さには選ばれる。

【請求項 9】 前記限界値が最大ポンピングパワーの 0 % から 3 0 % であることを特徴とする請求項 8 記載のパルスレーザ。

【請求項 1 0】 パルス繰返し周波数及びパルスエネルギーの少なくともいずれか一方が調節可能であり、前記選ばれたパルス繰返し周波数及びパルスエネルギーをもつパルス動作期間に存在する前記ピーク値（Ｓ）の水準にほぼ近い値まで、前記遅延時間（Ｖ）内に前記活性レーザー材（２）の前記蓄積エネルギーが低下するに十分な

長さに前記遅延時間 (V) を選ぶために前記第 1 バルス制御 (6) が設計されていることを特徴とする請求項 8 または 9 記載のバルスレーザ。

【請求項 11】 ポンピング源 (5) と、活性レーザ材 (2) と、ほとんど透明に調節されるオン状態とほとんど不透明に調節されるオフ状態とを有する Q スイッチ (3) と、バルスレーザを非能動動作とバルス動作との間で切り替えるためのゲート信号 (G) と、第 1 バルスのエネルギーを制御するために第 1 バルス制御 (6) を有し、前記第 1 バルス制御 (6) が、

a. 前記バルスレーザが非能動動作からバルス動作に切り替えるときに、前記ポンピング源 (5) のポンピングパワーを前記バルスレーザの損失が前記ポンピングパワーを上回る限界エネルギーまで低下させ、

b. 前記バルスレーザの非能動動作からバルス動作への切り替え後ブリセット可能な遅延時間 (V) にバルス動作期間に放射されるバルス間の時間間隔 (T) を加えた時間だけ第 1 レーザバルスのトリガを遅らせ、

c. 前記遅延時間 (V) 終了時に前記ポンピングパワーを再び最大値まで増加させるために設計されていることを特徴とするバルスレーザ。

ここで前記遅延時間 (V) は該遅延時間内に (V) 前記活性レーザ材 (2) の蓄積エネルギーが該遅延時間 (V) 内にほぼ 0 まで低下するに十分な長さに選ばれる。

【請求項 12】 前記限界値が最大ポンピングパワーの 0% から 30% であることを特徴とする請求項 11 記載のバルスレーザ。

【請求項 13】 ポンピング源 (5) と、活性レーザ材 (2) と、ほとんど透明に調節されるオン状態とほとんど不透明に調節されるオフ状態とを有する Q スイッチ (3) と、バルスレーザを非能動動作とバルス動作との間で切り替えるためのゲート信号 (G) と、第 1 バルスのエネルギーを制御するための第 1 バルス制御 (6) を有し、前記バルスレーザのバルス動作への切り替え後、第 1 の時間間隔内に前記活性レーザ材 (2) の蓄積エネルギーを連続波レージング時に存在するはずの前記蓄積エネルギーに相当する出発値 (cw) まで低下させ、引き続き第 2 の時間間隔内にバルス動作期間に到達するピーク (S) 値にほぼ近い値まで前記活性レーザ材 (2) にエネルギーを注入し、前記第 2 の時間間隔終了時に第 1 レーザバルスをトリガするために、前記第 1 バルス制御が設計されていることを特徴とするバルスレーザ。

【請求項 14】 前記活性レーザ材 (2) の蓄積エネルギーの前記低下が、前記第 1 の時間間隔内に前記 Q スイッチ (3) の前記透明度を連続的にまたは段階的に高めることによるブリレージングにより実行されることを特徴とする請求項 13 記載のバルスレーザ。

【請求項 15】 前記活性レーザ材 (2) の蓄積エネルギーの前記低下が、前記第 1 の時間間隔の少なくとも一

部の間に前記ポンピング源の前記エネルギーを低下させることにより、少なくとも部分的に実行されることを特徴とする請求項 13 または 14 記載のバルスレーザ。

【請求項 16】 前記活性レーザ材 (2) の前記蓄積エネルギーが前記第 1 の時間間隔終了時に前記出発値 (cw) まで低下するように、前記第 1 の時間間隔及び前記 Q スイッチ (3) の前記透明度の増加速度の少なくともいずれか一方が選ばれていることを特徴とする請求項 13、14 または 15 記載のバルスレーザ。

10 【請求項 17】 前記活性レーザ材 (2) の前記蓄積エネルギーが前記第 1 の時間間隔終了の少なくとも 5% 前に前記出発値 (cw) まで低下するように、前記第 1 の時間間隔が選ばれていることを特徴とする請求項 13、14 または 15 記載のバルスレーザ。

【請求項 18】 前記第 2 の時間間隔がバルス動作中に放射される各レーザバルス間の時間間隔 (T) の 80% であることを特徴とする請求項 13 から 17 のいずれかに記載のバルスレーザ。

10 【請求項 19】 前記第 1 バルス制御 (6) が、前記第 2 の時間間隔の長さを、バルス動作中に放射される各レーザバルス間の時間間隔 (T)、前記レーザバルスのエネルギー、前記ポンピングパワー及び前記第 2 の時間間隔終了時に前記活性レーザ材 (2) がバルス動作期間に存在する前記ピーク値 (S) の水準にほぼ近い値までエネルギーを注入されているように選ばれた前記 Q スイッチ (3) の前記透明度の増加速度に従って調節するために設計されている請求項 13 から 17 のいずれかに記載のバルスレーザ。

30 【請求項 20】 前記第 1 及び第 2 の時間間隔の合計がブリセット可能であることを特徴とする請求項 13 から 19 のいずれかに記載のバルスレーザ。

【請求項 21】 ポンピング源 (5) と、活性レーザ材 (2) と、ほとんど透明に調節されるオン状態とほとんど不透明に調節されるオフ状態とを有する Q スイッチ (3) と、バルスレーザを非能動動作とバルス動作との間で切り替えるためのゲート信号 (G) と、第 1 バルスのエネルギーを制御するための第 1 バルス制御 (6) を有し、前記第 1 バルス制御 (6) が、オン状態にある前記 Q スイッチ (3) の前記透明度を、前記バルスレーザを非能動差からバルス動作に切り替えたときからブリセット可能な時間間隔 (V) の間、限界透明度まで低下させるために設計されていることを特徴とするバルスレーザ。ここで前記限界透明度は前記バルスレーザの非能動動作からバルス動作への切り替え後放射される第 1 バルスが後続のレーザバルスとほぼ同じエネルギーをもつように選ばれる。

【請求項 22】 前記第 1 バルス制御 (6) が、前記ブリセット可能な時間間隔の間に前記限界透明度を選択可能な最小値から前記 Q スイッチ (3) の最大透明度まで連続的にまたは段階的に増加させるために設計されてい

ることを特徴とする請求の範囲 2 1 記載のバルスレーザ。

【請求項 2 3】 バルス繰返し周波数及びバルスエネルギーの少なくともいずれか一方が調節可能であり、前記バルスレーザの非能動動作からバルス動作への切り替え後放射される各第 1 バルスが後続の各レーザバルスとはほぼ同じエネルギーをもつように、前記調節されたバルス繰返し周波数及びバルスエネルギーの少なくともいずれか一方、及び前記限界透明度に従って前記プリセット可能な期間 (V) を該時間間隔 (V) 内に調節するために設計されていることを特徴とする請求項 2 1 または 2 2 記載のバルスレーザ。

【請求項 2 4】 非能動動作期間に前記ポンピング源 (5) の前記ポンピングパワーが最大ポンピングパワーの 95% ないし 50% に低下していることを特徴とする請求項 1 から 2 3 のいずれかに記載のバルスレーザ。

【請求項 2 5】 前記バルスレーザがダイオードでポンプされる固体レーザであることを特徴とする請求項 1 から 2 4 のいずれかに記載のバルスレーザ。

【請求項 2 6】 前記 Q スイッチ (3) が音響-光学スイッチとして構成され、該 Q スイッチの透明度が印加高周波電圧及び該高周波周波数の少なくともいずれか一方の水準により定められることを特徴とする請求項 1 から 2 5 のいずれかに記載のバルスレーザ。

【請求項 2 7】 前記 Q スイッチ (3) が音響-光学スイッチとして構成され、該 Q スイッチの透明度が印加電圧の水準により定められることを特徴とする請求項 1 から 2 6 のいずれかに記載のバルスレーザ。

【請求項 2 8】 ポンピング源 (5) と、活性レーザ材 (2) と、ほとんど透明に調節されるオン状態とほとんど不透明に調節されるオフ状態とを有する Q スイッチ (3) と、バルスレーザを非能動動作とバルス動作との間で切り替えるためのゲート信号 (G) と、第 1 バルスのエネルギーを制御するための第 1 バルス制御 (6) を有し、前記第 1 バルス制御 (6) が、第 1 レーザバルスがトリガされたときに最大蓄積エネルギー ($L = 1$) 量の一部のみを減少させられるように前記活性レーザ材 (2) 内に存在する蓄積エネルギーを調節するために設計されていることを特徴とするバルスレーザ。

【請求項 2 9】 前記最大蓄積エネルギー量の一部の前記減少が請求項 1 から 2 7 のいずれかに記載される特徴に従っておこることを特徴とする請求項 2 8 記載のバルスレーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はバルスレーザに関し、特にポンピング源、活性レーザ材、ほとんど透明に調節されるオン状態とほとんど不透明に調節されるオフ状態をもつ Q スイッチ、前期バルスレーザを非能動動作とバルス動作との間で切り替えるためのゲート信号、及

び第 1 バルスエネルギーを制御するための前記第 1 バルス制御を有するバルスレーザに関する。

【0002】

【従来の技術】バルスレーザは、ゲートの制御により、動作の準備はできているがレーザ光を放射しない非能動動作から 1 つのバルスまたは 1 連のバルスを放射するバルス動作に切り替えることができる。前記バルスは単独にまたは決められた順序でトリガされる。非能動動作期間に、前記活性レーザ材は前記ポンピング源により最大値までエネルギーが注入される。前記バルスレーザがバルス動作に切り替えられた後、最初にトリガされたレーザバルスが前記注入されたエネルギーを極めて大きく (一般にはほとんどゼロまで) 減少させ、その後ある時定数で注入されたエネルギー (以下「蓄積エネルギー」という) が再び増加する。蓄積エネルギーが再び最大値近くまで達する前にさらにレーザバルスがトリガされると、蓄積エネルギーは前記最大蓄積エネルギー値より小さいピーク値をもつ鋸歯状の時間的振舞いをするようになる。よって前記第 1 のレーザバルスの前記エネルギーは、前記後続のレーザバルスの前記エネルギーよりはるかに高くなる。前記超過分が大きくなるほど、前記活性レーザ材のエネルギー蓄積時定数に対して前記レーザバルス間の時間間隔は短くなる。上述の効果はバルスレーザ応用の多くで望ましいものではなく、第 1 バルス制御により防止しなければならない。

【0003】米国特許第 5, 225, 051 号には、2 つの連続するレーザバルス間の前記時間間隔が限界値をこえると、前記ポンピング源の前記ポンピングパワーを減少させるバルスレーザが述べられている。該方法は、前記活性レーザ材の前記最大蓄積エネルギーをバルス列が続いている間の前記ピーク値として存在する値にほぼ近い値に制限する。

【0004】既知のバルスレーザは、前記ポンピング源の前記パワーを広い範囲にわたって極めて迅速かつ精確に制御しなければならず、従って一方では大きな技術的努力が必要となり、他方ではある種のポンピング源でしか実現できないという点で不都合である。既知のバルスレーザでは、非能動動作期間中はポンピングパワーを大きく減少させて前記ポンピング源を動作させなければならず、このことはポンピング源の種類によっては特性 (例えばレーザダイオードのポンプ波長) に望ましくない変化をもたらす。バルス動作に切り替えられた後、まず前記ポンピング源は新しい状態で再び安定にならなければならない。従って前記レーザから放射されるバルス列の始まりの部分は不安定になるであろう。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明の課題は、バルス列の最初に放射されるレーザバルスの前記エネルギーが前記他のバルスの前記エネルギーと実質的に同じであり、よって既知のバルスレーザの不都合な点を回避す

る、優れたパルスレーザを提供することである。

【0006】

【課題を解決するための手段】前記課題は、請求項1、5、8、11、13または21に述べられる特徴により解決される。請求項2から4、6、7、9、10、12、14から20、及び22から27は、本発明のより進んだ実施の形態を述べている。

【0007】Qスイッチレーザにおいては、通常前記Qスイッチは透明度が最大のオン状態と透明度が最小のオフ状態との間を相互に切り替えられる。請求項1から4

に従う本発明の実施の形態において、前記Qスイッチはオフ状態で前記透明度が前記より得る最小値よりも高くなるように第1パルス制御により制御される。

【0008】前記Qスイッチの透明度がある値にあるときから、ブリレージングがおこる。すなわち前記パルスレーザが前記レーザパルスと比較して非常に強度の低いレーザ光を放射する。前記レーザ光強度は変化し、前記活性レーザ材の前記蓄積エネルギーを急激に減少させるスパイク（短時間の強度増加）が個々に発生する。ブリレージングの強度の上昇及び／または時間の経過とともに、前記活性レーザ材の前記蓄積エネルギーはより低い値に減少する。本発明に従えば、本発明の実施の形態のいくつかにおいて、前記活性レーザ材の前記蓄積エネルギーをパルス動作において存在する前記ピーク値にほぼ近い値に、前記Qスイッチの対応制御により、ブリレージングが調節される。

【0009】本発明の利点は、パルス列の第1パルスがトリガされるときに、前記活性レーザ材には前記後続パルスとはほぼ同じ値の前記蓄積エネルギーが存在することである。よって前記第1パルスの前記エネルギーも、前記後続パルスの前記エネルギーとほぼ等しい。“ほぼ等しい”という用語は前記第1パルスの前記エネルギーと前記後続パルスの前記エネルギーとの差が、パルスエネルギーの要求精度によって、約±0.5%から約±20%であることを意味すると理解される。これらの値は、前記第1パルスをトリガする直前に、前記活性レーザ材の前記蓄積エネルギーがパルス列の続く間の前記ピーク値として存在する前記蓄積エネルギーと整合すべき精度を与える。

【0010】もっとも簡単な実施の形態においては、調節しなければならないのはオフ状態における前記Qスイッチの透明度のみであるので、本発明の技術的努力は非常に小さい。さらに、前記ポンピング源をなんら操作する必要がないという利点がある。

【0011】オフ状態における前記Qスイッチの透明度の前記増大は、もっとも簡単な場合には常時維持される。従ってレーザパルスの放射と放射の間に低強度のブリレージングが一時的におこり、前記活性レーザ材の前記エネルギー蓄積に対する時定数が若干大きくなる。この問題は、前記パルスレーザの非能動動作時にのみオフ

状態での透明度を大きくするようにQスイッチを調節することにより防ぐことができる。この場合、前記パルスレーザのパルス動作時には、前記Qスイッチはオフ状態の間透明度が最小になるように調節される。

【0012】前記パルスレーザのパルス繰返し周波数及び／またはパルスエネルギーが変わると、パルス列が放射される間に前記活性レーザ材の蓄積エネルギーが達する前記ピーク値は変化する。前記パルス列の前記第1パルスの前記エネルギーを再び前記後続パルスの前記エネルギーにほぼ等しくするためには、オフ状態の間前記Qスイッチの透明度を変えて前記ブリレージング強度を適合させなければならない。本発明のより進んだ実施の形態において、該適合は第1パルス制御により自動的に行われる。もっとも簡単な場合では、前記適合は関連パラメータ（パルス繰返し周波数及び／またはパルスエネルギー及びブリレージング強度すなわちQスイッチ制御パラメータ）に対する調節レギュレータの機械的結合によりなされる。しかし、一般にはアナログまたはデジタル（またはアナログ・デジタル・ハイブリッド）の電子回路が要求されるであろう。例えば、アナログコンピュータ回路はパルス繰返し周波数及び／またはパルスエネルギーのそれぞれの値に対して必要なブリレージング強度を決定し、それによって前記Qスイッチを制御できる。またパルス繰返し周波数及び／またはパルスエネルギーの特定の値に適する前記ブリレージング強度値（すなわちQスイッチ制御パラメータ）もデジタルメモリに蓄えられ、対応するメモリエルの選択により、前記Qスイッチの適切な制御が遂行される。前記目的のため、パルス繰返し周波数及び／またはパルスエネルギーの値を、例えばデジタル化し、メモリアドレスに変換することができる。

【0013】請求項1から4及び13から20のいずれのパルスレーザもまた、パルス列の各パルスの前記エネルギーをはるかに上回る単パルスエネルギーをもたせることなく、単発モード（単レーザパルスをトリガすること）にすることができる。

【0014】前記パルスレーザの非能動動作期間のブリレージングが望ましくなければ、本発明を請求項5から7または13から20に従う実施の形態で用いることができる。非能動動作期間にブリレージングがおこらないように、前記Qスイッチは透明度が最小になるように調節される。前記パルスレーザがパルス動作に切り替えられた後、初め前記レーザパルスのトリガはプリセットできる遅延時間の間禁止され、ブリレージングが前記活性レーザ材の前記蓄積エネルギーを前記後続パルス列が続く間の前記ピーク値として存在する値にほぼ近い値まで減少させるように、オフ状態（初めはまだこの状態にある）における前記Qスイッチの前記透明度は連続的にまたは数段階を経て増加させる。透明度を1段階で急激に変化させるとおそらく前記パルスレーザに制御のきかな

いパルスが生じるから、そうすることはできない。前記プリセットできる遅延時間の終了時点で、オフ状態にある前記Qスイッチの前記透明度は最小値に調節され、前記レーザパルスのトリガが解放される。

【0015】本発明の前記実施の形態が前述の実施の形態より優れた点は、前記パルスレーザの非能動状態においてブリレーシングがおこらないことである。しかし、パルス動作への前記切り替えと前記第1レーザパルスの前記トリガとの間の遅延時間を受け入れなければならない。オフ状態における前記Qスイッチの透明度が増加する速度を高く選ぶほど該遅延時間は短くなるが、他方では前記遅延時間内の前記パルスレーザの前記ブリレーシング強度が大きくなる。

【0016】初めに述べた本発明の実施の形態と同様に、本実施の形態においても、前記後続パルス列が続く間の前記ピーク値として存在する値にほぼ近い値まで前記活性レーザ材の前記蓄積エネルギーを前記遅延時間内に減少させるように、パルス繰返し周波数、パルスエネルギー及び前記Qスイッチの前記透明度増加速度に対する調節値に自動的に適合させることができる。このためには、前述と同様の電子回路が必要である。

【0017】いかなる時であってもブリレーシングが望ましくなければ、本発明を請求項8から12に従う実施の形態で用いることができる。この場合前記Qスイッチは、透明度がオン状態では可能な限り高くオフ状態では可能な限り低くなるように、常に制御される。

【0018】前記パルスレーザがパルス動作に切り替ると、初め前記レーザパルスのトリガはプリセット可能な遅延時間の間禁止される。該遅延時間中、少なくとも前記パルスレーザの（例えば蛍光による）損失が前記ポンピングパワーを上回り、前記活性レーザ材の前記蓄積エネルギーが減少するような低い限界エネルギーにまで減少したポンピングパワーで、前記ポンピング源を動作させる。前記遅延時間は、前記後続パルス列が続く間の前記ピーク値として存在する値にほぼ近い値まで前記活性レーザ材の前記蓄積エネルギーを前記遅延時間内に減少させるだけの長さとなるように選ばれる。前記遅延時間終了時に、前記ポンピングパワーは再び通常値（一般に最大エネルギー）まで増加し、前記レーザパルスのトリガが解放される。本発明の本実施の形態が前述の実施の形態より優れた点は、いかなる時にもブリレーシングがおこらないことである。

【0019】一般に選ばれる前記限界エネルギーは、前記活性レーザ材の前記蓄積エネルギーの前記減少が可能な限り迅速におこるように、ゼロ（すなわち、前記ポンピング源はスイッチが切られている）である。しかし、ある種のポンピング源の動作に対しては、前記ポンピング源が連続動作を続けるように前記限界エネルギーをゼロより大きくすることが有用であろう。

【0020】上述の手段に代るものとして、前記遅延時

間を前記活性レーザ材の前記蓄積エネルギーが該遅延時間内にほぼゼロまで減少するような（要求されるパルス列の前記第1パルスの前記エネルギーと前記後続パルスのエネルギーとの一致の度合いにより、最大蓄積エネルギーの約20%より少ない値から約1%より少ない値までの減少を意味する）長さを選ぶことができる。レーザパルスをトリガするための第1のトリガ信号は、前記遅延時間の終了時から前記パルス列の前記トリガ信号相互間の時間間隔をもって解放される。よってパルス列の第1パルスがトリガされたとき、前記活性レーザ材には前記後続パルスとほぼ同じエネルギー蓄積状態が存在し、従ってパルスエネルギーはほぼ等しい。

【0021】本発明を、請求項5から7の実施の形態と請求項8から12の実施の形態とを組合せて得られる実施の形態で用いることができる。前記パルスレーザをパルス動作に切り替えた後、プリセット可能、すなわち第1パルス制御によりパルス繰返し周波数及びパルスエネルギーに対して選ばれた値に長さが適合した、遅延時間の間ブリレーシングがおこり、その上前記ポンピングパワーが前記限界エネルギー（一般にゼロ）まで減少するように、前記Qスイッチの前記透明度は連続的または数段階を経て増加する。よって、前記活性レーザ材の前記蓄積エネルギーはブリレーシングのみ、または前記ポンピングパワーの減少のみの場合よりはるかに迅速に減少し、従って非常に短い前記遅延時間を選ぶことができる。前記遅延時間終了時に前記ポンピングパワーは再び通常値（一般に最大エネルギー）まで増加し、前記レーザパルスがトリガされる。

【0022】本発明の上述の実施の形態と同様に、本実施の形態および別の形態においても（または前記蓄積エネルギーをほぼゼロまで減少させる別の実施の形態においても）、前記遅延時間及び前記限界エネルギーを自動的に、前記後続パルス列が続く間の前記ピーク値として存在する値にほぼ近い値まで前記活性レーザ材の前記蓄積エネルギーを前記遅延時間内に減少させるように、パルス繰返し周波数及びパルスエネルギーに対する調節値に適合させることができる。このためには、すでに述べたように電子回路が必要である。

【0023】請求項13から20に従う本発明のさらに進んだ実施の形態においては、前記パルスレーザがパルス動作に切り替った後の第1の時間間隔の間に連続レーザ動作の場合に存在するはずの蓄積エネルギーに相当する出発値まで前記活性レーザ材の前記蓄積エネルギーを減少させ、引き続き第2の時間間隔の間にパルス動作時に到達する前記ピーク値にほぼ近い値まで前記活性レーザ材にエネルギーを注入して、前記第2の時間間隔終了時に第1のレーザパルスをトリガするように、第1パルス制御は設計されている。

【0024】本発明に従えば、前記活性レーザ材の前記蓄積エネルギーは、前記Qスイッチの対応制御により、

10

20

30

40

50

前記第1の時間間隔の間に、前記活性レーザ材が連続動作（すなわちパルス動作ではない）で到達する蓄積エネルギーに相当する出発値まで、プリレーシングにより減少させられる。前記出発値に到達すると、レーザ光強度は安定化され、もはやスパイクはほとんどない。前記第1の時間間隔の長さを前記出発値に到達するのに十分な時間より（少なくとも約5%）長く選べば、レーザ光強度はさらに安定化され、前記出発値はよりよく定められる。よって、パルス動作中に到達する前記ピーク値までの前記活性レーザ材の前記エネルギー注入も前記引き続く第2の時間間隔内により正確に達成され、第1パルスのエネルギーはパルス列の他のパルスのエネルギーによく一致する。

【0025】また蓄積エネルギーの減少は、前記第1の時間間隔の全てまたは一部の間に前記ポンピングパワーを減少させることによって達成され得る。ポンピングパワーは約10%から100%を減少させ得る。プリレーシング及びポンピングパワー減少を組み合わせることも可能である。

【0026】前記出発値から出発すれば、前記引き続く第2の時間間隔内に前記活性レーザ材にパルス動作の間に到達するピーク値にほぼ近い値までエネルギーが注入され、前記第2の時間間隔終了時に第1レーザパルスがトリガされる。

【0027】本発明の上述の実施の形態の利点は、パルス列の第1パルスがトリガされるとき、前記後続パルスとはほぼ同じ値の前記活性レーザ材の前記蓄積エネルギーが存在することである。前記レーザ材の前記エネルギー注入は前記定められた出発値からおこるので、前記レーザ材は第1のレーザパルスが放射されるまでに非常に正確な値のエネルギーが注入される。よって前記第1パルスのエネルギーは前記後続パルスのエネルギーとほとんど等しい。“ほとんど等しい”という用語は前記第1パルスのエネルギーと前記後続パルスのエネルギーの差が、パルスエネルギーの要求精度によって、約±0.5%から約±2.0%であることを意味すると理解される。上記の値は、前記第1パルスがトリガされる直前に前記活性レーザ材の前記蓄積エネルギーとパルス列が続く間の前記ピーク値として存在する蓄積エネルギーとの整合の精度を与える。

【0028】最も簡単な実施の形態における本発明の技術的努力は、提供されなければならないものが、前記活性レーザ材の前記蓄積エネルギーが減少する第1の時間間隔及びエネルギー蓄積が再びおこり、長さがレーザパルス間隔の80%である第2の時間間隔という、2つの固定された時間間隔だけであるので、非常に小さい。さらに、蓄積エネルギーの前記減少がプリレーシングによっておこるのであれば、ポンピング源をなんら操作する必要がないという利点がある。

【0029】前記パルス繰返し周波数及び／またはパル

スエネルギーまたは前記パルスレーザのポンピングパワーが変化すれば、パルス列が放射されている間に到達する前記活性レーザ材の前記蓄積エネルギーも変わる。前記パルス列の第1パルスのエネルギーを再び後続パルスのエネルギーにほぼ等しくするため、パルスエネルギーの定常性がより高い要求に合わなければならないとすると、前記第2の時間間隔の長さを前記変化したパラメータに適合させなければならない。最も簡単な場合には、前記時間間隔の長さは手で調節される。

10 【0030】本発明のさらに進んだ実施の形態においては、前記適合は第1パルス制御により自動的に行われる。最も簡単な場合には、該適合は関連パラメータ（パルス繰返し周波数及び／またはパルスエネルギーまたはポンピングパワー及び第2の時間間隔）に対する調節レギュレータの機械的結合によりなされる。しかし、一般にはアナログまたはデジタル（またはアナログ・デジタル・ハイブリッド）の電子回路が要求されるであろう。例えば、アナログコンピュータ回路はパルス繰返し周波数及び／またはパルスエネルギーまたはポンピングパワーのそれぞれの値に対して必要な前記第2の時間間隔の長さを決定し、それによって前記Qスイッチ及び前記レーザパルスのトリガを制御する。パルス繰返し周波数及び／またはパルスエネルギーまたはポンピングパワーの定まった値に適する前記第2の時間間隔の前記長さの値もデジタルメモリに蓄えられ、対応するメモリセルの選択により、前記Qスイッチの適切な制御が遂行される。前記目的のため、パルス繰返し周波数及び／またはパルスエネルギーの値を、例えばデジタル化し、メモリアドレスに変換することができる。

30 【0031】前記第1及び第2の時間間隔の長さの和がある固定値に調節されると、前記レーザの前記ゲート信号によるパルス動作への切り替えと前記第1レーザパルスの放射との間の前記遅延時間が正確に分かり、前記調節パラメータには依存しないという利点が得られる。前記第1及び第2の時間間隔の長さの和をある値に調節するためには、最小値をとる必要があるだけでその他の点では重要ではない、前記第1の時間間隔の長さをそれに応じて適合させることができる。

40 【0032】請求項21から23は、前記パルスレーザをパルス動作に切り替えた時点で存在する前記活性レーザ材の前記高蓄積エネルギーの一部のみを第1レーザパルスまたはパルス群の形で減少させることにより、パルス列の第1パルスのエネルギーが後続パルスのエネルギーに適合させられる、本発明の実施の形態を述べている。該目的のために、前記パルスレーザのパルス動作への切り替え時点から、オン状態における前記Qスイッチの前記透明度がプリセット可能な時間の間、最高透明度ではなく前記最高透明度より低いある限界透明度に調節される。よって、レーシング（レーザ光放射）は正規のパルス動作に比べて少ないエネルギーでおこり、第1の

トリガされたレーザパルスはとり得る最大エネルギーより少ないエネルギーをもつ。前記限界透明度は、前記第 1 のレーザパルスの前記エネルギーが安定状態におけるパルス列の前記レーザパルスのエネルギーにほぼ相当するように選ばれる。該第 1 レーザパルスは、前記活性レーザ材の蓄積エネルギーを減少させる。よって蓄積エネルギーは一般に、正規のパルス動作におけるピーク値として存在する値よりは大きい値になる。従って、第 2 及びおそらく第 3 のレーザパルスも、オン状態で前記 Q スイッチを限界透明度に制御して放射されなければなら

ず、これにより前記活性レーザ材の蓄積エネルギーがすでに減少しているの、前記限界透明度は前記第 1 レーザパルスに対する限界透明度より高くなる。前記プリセット可能な時間は前記第 2 ないし第 3 のレーザパルスの放射後終了する。

【0033】本発明の本実施の形態の利点は、ブリレーシングがおこらず、また前記パルスレーザのパルス動作への切り替えと前記第 1 レーザパルスの放射との間に遅延がないことである。

【0034】前述の本発明の他の実施の形態と同様に、本実施の形態においても、パルス繰返し周波数及びパルスエネルギーをパルス列の第 1 パルスが該パルス列の第 1 パルスからかなり後のパルスのそれぞれとほぼ同じエネルギーを含むように調節された値に従って前記プリセット可能な時間及び前記限界透明度を、前述と同様の電子回路により自動的に選択すること可能である。

【0035】パルス動作期間中は、前記パルスレーザは非能動動作期間中より多くのエネルギーを放射する。このため非能動動作中の前記活性レーザ材の温度がパルス動作時に比べて高くなり、前記パルスレーザの特性に好ましくない変化をもたらす。該効果を避けるかまたは少なくとも小さくするために、本発明の別形として、全ての実施の形態において前記パルスレーザの非能動動作期間中は前記ポンピング源の前記ポンピングパワーを減少させることができる。ポンピングパワーは、非能動動作期間中の前記パルスレーザのエネルギー・バランスがパルス動作中のエネルギー・バランスとなるべく等しくなる値にまで減少させられる。前記必要なポンピングパワーは、前記パルスレーザの特性及びパルス繰返し周波数及びパルスエネルギーの前記選択された値に依存する。代表値は、最大ポンピングパワーの 95% から 50% である。

【0036】本発明は、本質的に全ての種類のポンピング源（例えば、フラッシュバルブ、連続発光灯、光放射ダイオード、レーザ、レーザダイオード、ガス放電）を有する全ての Q スイッチ・パルスレーザ（例えば、ガスレーザ、固体レーザ、ダイレーザ、エキシマーレーザ）に適用可能である。請求項 8 から 12 に従う本発明の実施の形態だけがエネルギーを変更できるポンピング源でなければならないが、短い間スイッチを切ることができ

るものであれば一般的には十分である。請求項 8 から 12 に従う本発明の実施の形態においては、必ずしも Q スイッチを備える必要はない。

【0037】請求項 28 に要約されているように、本発明の基本原理は、前記レーザ材の前記最大蓄積エネルギー量の一部のみが減少するように、前記レーザ材の蓄積エネルギー量に従ってパルス列の第 1 パルスに対するエネルギーを制御することである。一方では、前記制御は、第 1 パルスがトリガされる前に前記レーザ材が最大蓄積エネルギーまでエネルギーが注入されるならば、該最大蓄積エネルギーを前記第 1 パルスがトリガされる前にいくらか減少させるようにして実現される。他方では、蓄積エネルギーの残量が前記第 1 パルスの終了時に前記レーザ材の中になお残存するように、最大蓄積エネルギーから始めて前記蓄積エネルギー量の一部のみを減少させるような方法で、前記第 1 パルスの前記トリガが制御される。

【0038】前記 Q スイッチは、音響-光学スイッチとして構成される。該スイッチは、レーザ光に対して透明な光学材料で作られ、高周波電圧によって励起されて振動する圧電性結晶の助けにより超音波が作り出される。光弾性効果により、前記超音波は前記材料内で局所的な屈折率変化を引き起こす。生じる位相格子の周期は前記音響波長と同じであり、振幅は前記音響振幅に比例する。該音響-光学素子がレーザ共振器内に挿入されると、前記位相格子における偏向により電磁波の一部が前記共振器から離れる。前記音響振幅すなわち高周波電圧が十分大きければ、前記付加的損失はレーザ発振がおこらないようにする（前記 Q スイッチがオフ状態にある）に十分大きくなる。前記高周波電圧のスイッチを切ると直ちに前記レーザ共振器は高品質状態に戻り、レーザパルス放射をおこす（前記 Q スイッチはオン状態にある）。

【0039】前記高周波電圧が最大値から始めて減少すると、前記音響振幅、従って前記共振器内の光偏向の効力が小さくなる。すなわち、前記レーザ共振器を離れる光の量が少なくなる。ある高周波電圧より低い電圧で、ブリレーシングがおこる。光偏向の効力はまた前記高周波電圧だけでなく、前記圧電素子は共振周波数に相当しない励起周波数においては低効率で動作するから、圧電素子に印加される前記高周波電圧の周波数にも左右される。

【0040】前記 Q スイッチはまた、ポッケル効果またはカー効果に基づく電気-光学スイッチとしても構成される。ポッケル効果の場合は、光は電場の印加により複屈折性になる結晶（例えばリン酸二水素カリウム）を通して導かれる。カー効果の場合は、結晶ではなく、分子が異方性の液体（例えばニトロベンゼン）を入れたセルを用いる。いずれの場合も、偏光子と組み合わせて、印加電圧の大きさにより透明度を制御できる光スイッチが違

成される。

【0041】

【発明の実施の形態】図1に示されるパルスレーザは、出力ミラー1、（例えばNd:YAG結晶の形の）活性レーザ材2、Qスイッチ3、入力ミラー4、ポンピング源としてのレーザダイオード5及び第1パルス制御6からなっている。構成要素1から4は、前記入力ミラー4を通して前記レーザダイオード5により縦方向にポンプされるレーザ共振器を構成する。音響-光学スイッチとして構成される前記Qスイッチ3は、1つの面8に圧電素子9を付け、斜めになった対向面10を有するガラスブロック7からなっている。高周波電圧が線路11を通して前記圧電素子9に印加されると、前記斜めになった面10に向かって進む高周波音波が、前記ガラスブロック7内に作り出される。前記音波は位相格子として働き、側面12を通して導かれる光を偏向する。前記Qスイッチ3は高周波電圧が供給されないオン状態と、最大振幅の高周波電圧が供給され光を最大限に偏向するオフ状態をもつ。前記パルスレーザの光学構成要素は、前記Qスイッチ3のオン状態でレージングがおこるように調節される。前記Qスイッチ3のオフ状態では、光はレージングがおこらないような程度まで前記共振器内で偏向される。

【0042】前記パルスレーザの動作は以下の通りである。前記Qスイッチ3は初めオフ状態にある。前記活性レーザ材2は前記ポンピング源5により最大にエネルギーが注入される。ここで前記Qスイッチ3が瞬間的に前記オン状態に切り替えられると、レージングがおこりレーザパルスが放射される。前記活性レーザ材2の蓄積エネルギーはゼロまたは少なくともほとんどゼロまで減少する。次いで前記活性レーザ材2は再びある時定数をもってエネルギーが注入されさらにレーザパルスが放射される。

【0043】図2は前記第1パルス制御6の概略図を示す。これは前記Qスイッチ3と線路11を通してまた前記ポンピング源5と線路13を通して結びつけられている。前記第1パルス制御6は演算回路14、ゲート15及び線路11を通して前記Qスイッチ3に供給されるHF発生器16から構成されている。前記演算回路14の入力信号は、前記選ばれたパルスエネルギーに対する信号Pe、前記選ばれたパルス繰返し周波数に対する信号Pf、及び非能動動作とパルス動作とを切り替えるデジタル・ゲート信号Gである。

【0044】前記演算回路14からの信号Pは前記ポンピング源5に行き、そのエネルギーを左右する。これにより、特に放射レーザパルスのエネルギーを定めることができる。他の出力については、前記演算回路14は前記Qスイッチ3のオフ状態において前記HF発生器16のHF振幅を定める信号A、前記Qスイッチ3のオン状態において前記HF発生器16のHF振幅を定める信号

E及びデジタル・ゲート信号gを供給する。該3信号は、前記HF発生器16により作られる前記HF電圧の前記振幅を定め、よって前記Qスイッチ3の前記偏向動作を制御する出力信号aを供給する、前記ゲート15に行く。信号gは信号aを値A及び値Eの間で相互に切り替える。

【0045】前記演算回路14は前記入力信号Pe、Pf及びGと出力信号P、との数学的結合を、例えばアナログ演算回路により実現する。数学的結合の形式は、前記パルスレーザの特性及び本発明の選ばれる実施の形態に依存する。

【0046】図3は、請求項1から4に従う本発明の実施の形態に対する、信号G、g、A、a及び前記活性レーザ材2の蓄積エネルギーLの時間的変化を示す。信号E（図示されていない）は定常的にゼロである。横軸は時間tに関してプロットされ、縦軸は1に規格化した対応する信号についてプロットされている。信号Gは、状態1と状態0の間で外部から相互に切り替えられる。0は前記パルスレーザが非能動動作であることを意味し、1はパルス動作であることを意味している。時刻t=0は、非能動動作からパルス動作への切り替えの瞬間におかれている。パルス動作においては、信号gの立上がりエッジによりそれぞれのレーザパルスがトリガされる。各パルス間の時間間隔は、入力信号Pfにより定められる。信号G及びgは、Gが0に等しいときgは常に0であり、G=1のときgがパルスを供給するように結合されている。G=0の間、前記演算回路14は信号Aを例えばA=0.7という値に固定し、G=1の間は、値はA=1である。Eの値は常にE=0である。前記ゲート15は、g=0の間は信号a=A、g=1の間は信号a=Eであるように信号A、E及びgを結合する。

【0047】よってaの時間的変化は次の通りである。G=0の間はa=0.7、またG=1の間はaはPfにより定まる前記パルス繰返し周波数をもって0と1の間を移り変わる。信号a=1のとき、前記Qスイッチ3は最大HF振幅で制御され、前記レーザ共振器内では光偏向が最大であるため、レージングは不可能である。aが0に切り替ると光偏向は0となり、レーザパルスが放射される。a=0.7のとき、光偏向が部分的であるため、あるエネルギーでブリレージングがおこる。該エネルギーは、前記パルスレーザの非能動動作の間、前記活性レーザ材2の蓄積エネルギーLがパルス動作期間中ピーク値Sとして存在する値に変更可能な許容範囲内で相当するように、前記演算回路14により選ばれる。

【0048】蓄積エネルギーLの時間的変化は次の通りである。前記パルスレーザの非能動動作期間中、蓄積エネルギーはブリレージングにより定常的に、例えば0.5（1が最大エネルギーに相当）という値に保持される。信号aの最初の立ち下がりエッジによりパルス列の第1レーザパルスが放射される。よって蓄積エネルギー

10

20

30

40

50

は非常に迅速に0まで低下する。ポンピングパワーの供給により、ある時定数で再びエネルギーの蓄積がおこる。信号aの次の立ち下がりエッジが次のレーザパルスをトリガする。このとき蓄積エネルギーはパルス動作期間に到達するピーク値Sまで上昇している。放射されるレーザパルスは、蓄積エネルギーを0まで戻す。上述の過程は前記パルスレーザが非能動動作に切り替えられるまで繰り返される。非能動動作に切り替ると、蓄積エネルギーはブリレージングによって定められる0.5という値まで上昇し、この値にとどまる。前記パルスレーザが非能動動作である間、蓄積エネルギーの値はほぼSであるので、第1パルスは後続レーザパルスのそれぞれとほぼ同じエネルギーをもつ。

【0049】パルスエネルギーPe及びパルス繰返し周波数Pfに異なる値を選べば、ピーク値Sは変化する。よって前記演算回路14は、前記パルスレーザの非能動動作期間中に前記蓄積エネルギーが変更可能な許容範囲内で新しいSの値に整合し、よってパルス列の全パルスがほぼ等しいエネルギーを含むように、 $G=0$ の間のAの値を適合させる。

【0050】図4は、請求項5から7に従う実施の形態におけるパルスレーザの信号の経過を示す。信号E（図示されていない）は常時0である。非能動動作（ $G=0$ ）からパルス動作（ $G=1$ ）に切り替った後、前記演算回路14は信号gの第1パルスを遅延時間Vだけ遅らせる。遅延時間Vの間信号Aは1から例えば0.6まで連続的に小さくなり、Vの終了時に再び1まで大きくなる。信号aは非能動動作時には1であり、遅延時間のVの間1から0.6まで下がって、パルス動作の残りの期間中は0と1の間で相互に切り替る。蓄積エネルギーLは非能動動作時には1、すなわち前記活性レーザ材には最大限のエネルギーが注入されている。遅延時間Vの間にLは減少し、Vの終了時にここで例として選ばれた値0.5まではば到達する。レーザパルスが次々に放射されている間Lは0とピーク値 $S=0.5$ の間で変動する。非能動動作に切り替った後、Lは再び1まで増加する。

【0051】図5は、請求項8から10に従う実施の形態におけるパルスレーザの信号の経過を示す。信号Aは常時1であり、信号Eは常時0である（ともに図示されていない）。前記ポンピング源5のポンピングパワーPは、前記パルスレーザが非能動動作である間は最大値に調節されている。前記パルスレーザが時刻 $t=0$ でパルス動作に切り替ったときに、前記ポンピングパワーは遅延時間Vの間0まで減少する。前記レーザ共振器の損失により、遅延時間Vの間に蓄積エネルギーは最大値から出発して $t=V$ で、パルス動作におけるピーク値Sにやはり相当する値0.5（例として）まではば到達する。 $t=V$ の時点で前記レーザパルスがトリガされ（信号g）、ポンピングパワーは初期値まで再び増加する。非

能動動作に切り替った後、Lは再び1まで増加する。

【0052】図6は、請求項11から12に従う実施の形態におけるパルスレーザの信号の経過を示す。信号Aは常時1であり、信号Eは常時0である（ともに図示されていない）。前記ポンピング源5のポンピングパワーPは、非能動動作期間中は最大値に調節されている。前記パルスレーザが時刻 $t=0$ でパルス動作に切り替ったときに、前記ポンピングパワーは遅延時間Vの間0まで減少する。遅延時間Vは、前記活性レーザ材2の蓄積エネルギーが $t=V$ となる前に0まで低下するに十分な長さにはばれる。パルス列の第1パルスは、時刻 $V+T$ にトリガされる。Tはパルス列が続く間のレーザパルス間の時間間隔である。蓄積エネルギーLは0から出発して時間Tの間増加するので、第1パルスの放射に際しては他のレーザパルスの放射のときと同じ蓄積エネルギーが存在し、よって全てのパルスが同じエネルギーを含む。

【0053】図7に示すパルスレーザは、図1で第1パルス制御6をポンピング源5と結んでいる線路13がないことのみが図1に示したパルスレーザと異なる。前記ポンピング源5の制御は、本例ではここに示されていない別の信号線路によって実行される。

【0054】図8は、請求項13から20に従って実施された第1パルス制御システムの概略図である。該システムは、Qスイッチ3と線路11で結ばれている。前記第1パルス制御6は演算回路17、RAM18、タイマー19、積分器20及び前記Qスイッチ3に前記線路11を通して供給されるHF発生器21で構成されている。

【0055】前記演算回路17の入力は、選ばれたパルスエネルギーに対する信号Pe、選ばれたパルス繰返し周波数に対する信号Pf及び選ばれたポンピングパワーに対する信号Piである。前記演算回路17及びRAM18は、入力信号Pe、PfまたはPiの変更に際して前記演算回路17により更新されている、前記第1及び第2の時間間隔の長さ及び前記パルス繰返し周波数についてタイマー19が要求するデータを蓄える。

【0056】前記タイマー19に対する入力信号は、前記パルスレーザが非能動動作からパルス動作に切り替ると0から1に変わるゲート信号Gである。第1の時間間隔の間、前記タイマー19は前記積分器20に信号I1を供給し、順に該積分器11はランプ状信号Rを前記HF発生器21に供給する。ランプ状信号Rは、前記第1の時間間隔の間前記Qスイッチ3の透明度を連続的に増加させる。このことは、前記活性レーザ材2の蓄積エネルギーをブリレージングにより減少させる。出力信号I2/Pは前記第2の時間間隔の間は0であり、該時間間隔の後に前記選ばれたパルス繰返し周波数に対応する時間間隔Tで短いパルスが作られる。該短パルスは前記レーザパルスをトリガするのに役立つ。

【0057】図9は、信号G、I1、R、I2/P、H

F 及び L の時間に対する振舞いを示す。ゲート信号 G は時刻 $t = 0$ でゼロから 1 に変わり、後にゼロに戻る。信号 G が 1 に切り替っている間、前記レーザはパルス動作に設定されている。信号 1 1 は、 $t = 0$ から $t = t_1$ の間 1 に切り替る。0 から t_1 までの時間が前記第 1 の時間間隔である。前記積分器 2 0 は、信号 1 1 から時刻 $t = 0$ に始まりランプして 1 から 0 まで低下する信号 R を作る。該信号 R は t_1 の少し前に値 0 に到達し、 t_1 で 1 に跳ね戻る。信号 $12/P$ は時刻 t_2 まで 0 である。 t_1 から t_2 までの時間が前記第 2 の時間間隔である。時刻 t_2 の時点から信号 $12/P$ は、前記パルス繰返し周波数の逆数に相当する時間間隔 T をもった短パルス列になる。前記 Q スイッチ 3 を制御する信号 HF は、信号 R 及び $12/P$ の結合から得られる経過をたどる。 $t = 0$ で信号 HF はランプして 1 から 0 へ低下し、 t_1 で 1 に跳び上がり、 t_2 の時点から 1 と 0 の間をパルスの変化する。前記パルスの経過に従って前記レーザはトリガされる。最下図は前記活性レーザ材 2 の蓄積エネルギー L を示す。 $t = 0$ で蓄積エネルギー L は、1 に設定された最大値から不規則なブリレージングにより、前記レーザが連続波動作時にもつはずの蓄積エネルギーに相当する値 cw まで低下する。時刻 t_1 で蓄積エネルギー値は cw に落ち着く。前記活性レーザ材 2 の蓄積エネルギーが再び増加する前記第 2 の時間間隔は、 t_1 から t_2 まで続く。前記第 2 の時間間隔の長さは、時刻 t_2 に、前記レーザのパルス動作における蓄積エネルギーの前記ピーク値として存在する値 S に前記蓄積エネルギーが極めて正確に到達するように選ばれる。パルス動作期間中、蓄積エネルギーはレーザパルスが放射されるたびにほとんど 0 まで極めて迅速に低下し、次いで再びピーク値 S まで増加する。パルス動作終了時には蓄積エネルギーは最大値まで再び増加する。

【0058】図 10 は、請求項 21 から 23 に従う実施の形態における信号の経過を示す。本実施の形態は、図 1 及び図 2 に示した前記概略図に従って構成されることが望ましい。信号 A 及び P (図示されていない) は常時 1 である。 $t = 0$ に前記パルスレーザが非能動動作からパルス動作に切り替ったとき、信号 E は 0 から第 1 の限界値、例えば $E = 0.6$ (信号 E は、前記パルスレーザの非能動動作期間中、定期的にこの値をとっていてもよい) まで上昇する。第 2 のレーザパルスがトリガされる時刻より前の時刻 V_1 に、E は第 2 の限界値、例えば 0.3 まで低下する。第 3 のレーザパルスがトリガされる時刻より前の時刻 $t = V$ からは、E は 0 に設定される。前記 Q スイッチ 3 の制御信号 a は、第 1 のトリガパルス (信号 g) の間に 1 から 0.6 になり、第 2 のトリガパルスの間に 0.3 になって、他のトリガパルスの間に 0 になる。前記 Q スイッチ 3 は初めの 2 つのパルスの間は透明度が低いから、蓄積エネルギー L は一部しか減少しない。前記限界値 ($E = 0.6$ 及び $E = 0.3$)

は、全てのレーザパルスのエネルギーがほぼ等しくなるように、第 1 パルス制御により調節される。

【0059】図 11 は、請求項 24 の特徴を例示の方法によって請求項 8 から 10 (信号の経過は図 5 に示されている) の特徴のいずれかと組み合わせる実施の形態におけるパルスレーザの信号の経過を示す。前記パルスレーザの非能動動作期間中、ポンピングパワー P は 0.8 まで低下している。 $t = 0$ から $t = V$ まで P は 0 まで低下し、パルス動作の残りの期間は 1 に設定される。すなわち、最大ポンピングパワーが利用される。非能動動作期間中はポンピングパワーを低下させておくことにより、エネルギー吸収が様になり、よって前記パルスレーザの動作温度も様になる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】Q スイッチパルスレーザの概略図

【図 2】第 1 パルス制御のブロック図

【図 3】前記パルスレーザの様々なパラメータ及び信号の時間的変化を示す

【図 4】前記パルスレーザの様々なパラメータ及び信号の時間的変化を示す

【図 5】前記パルスレーザの様々なパラメータ及び信号の時間的変化を示す

【図 6】前記パルスレーザの様々なパラメータ及び信号の時間的変化を示す

【図 7】Q スイッチパルスレーザの概略図

【図 8】第 1 パルス制御のブロック図

【図 9】前記パルスレーザの様々なパラメータ及び信号の時間的変化を示す

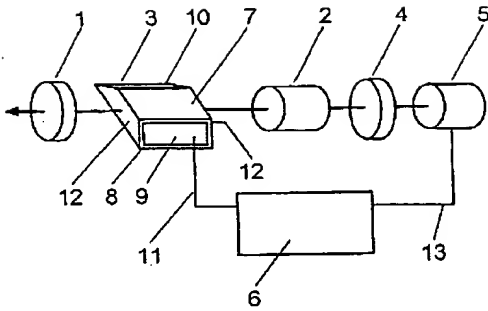
【図 10】前記パルスレーザの様々なパラメータ及び信号の時間的変化を示す

【図 11】前記パルスレーザの様々なパラメータ及び信号の時間的変化を示す

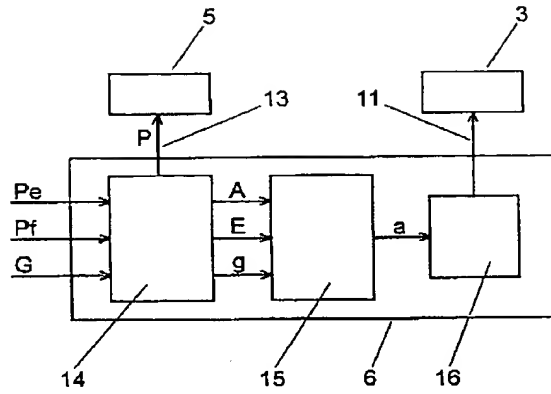
【符号の説明】

- | | |
|--------|-------------------|
| 1 | 出力ミラー |
| 2 | 活性レーザ材 |
| 3 | Q スイッチ |
| 4 | 入力ミラー |
| 5 | レーザダイオード |
| 6 | 第 1 パルス制御 |
| 7 | ガラスブロック |
| 8 | ガラスブロックの 1 面 |
| 9 | 圧電素子 |
| 10 | ガラスブロックの斜めになった対向面 |
| 11, 13 | 線路 |
| 12 | ガラスブロックの側面 |
| 14, 17 | 演算回路 |
| 15 | ゲート |
| 16, 21 | HF 発生器 |
| 18 | RAM |
| 19 | タイマー |

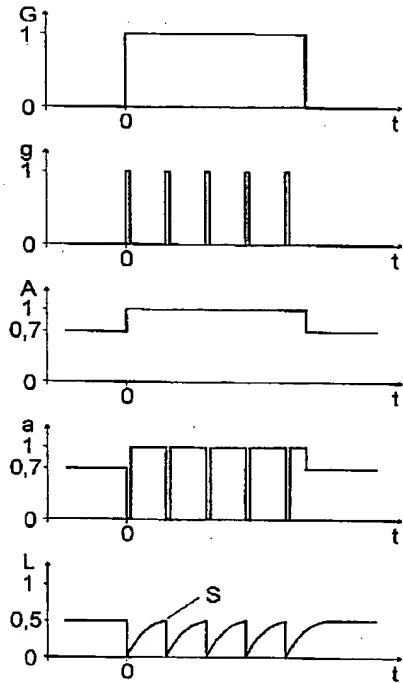
【図1】



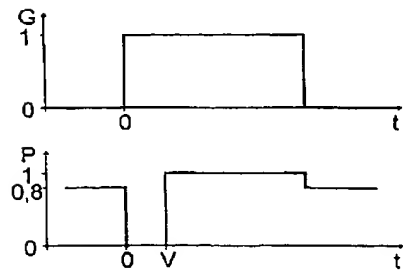
【図2】



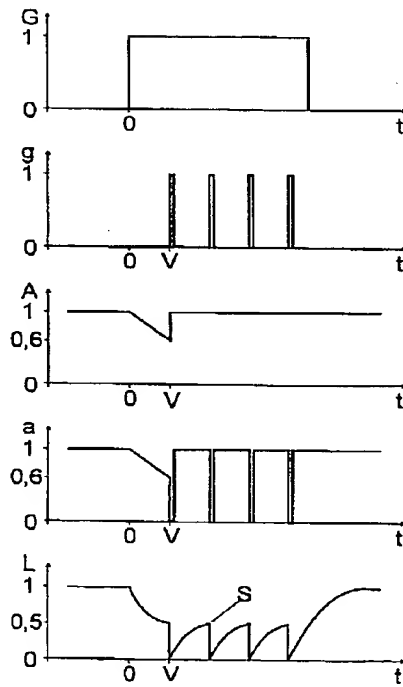
【図3】



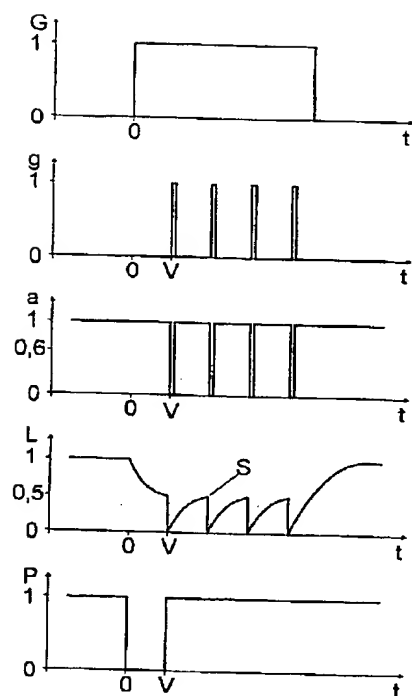
【図11】



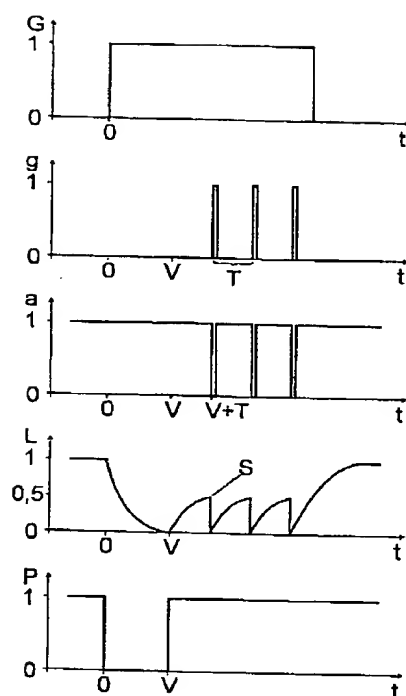
【図4】



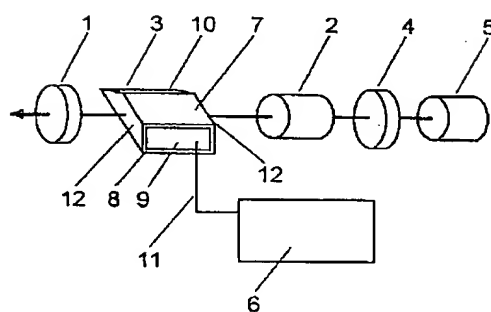
【図5】



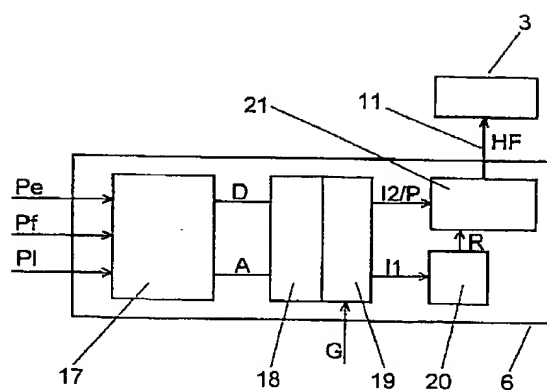
【図6】



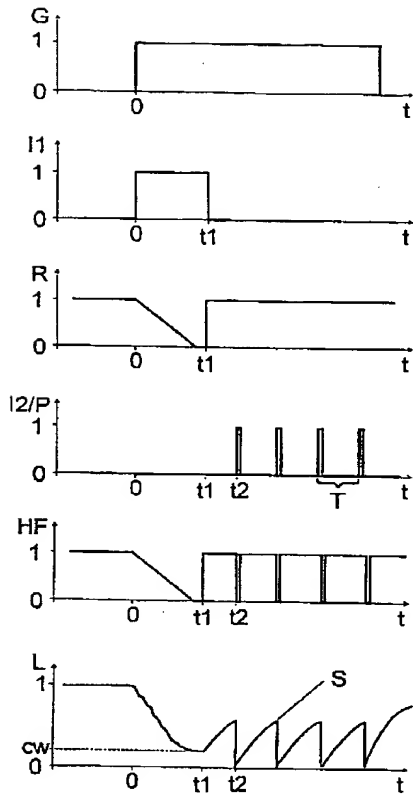
【図7】



【図8】



【図9】



【図10】

